PSC 2016 سی‌ویکمین کنفرانس بین‌المللی برق
۳ تا ۵ آبان ماه ۱۳۹۵ / تهران – ایران

No. F-16-AAA-0000

مروری بر طراحی و پیاده سازی سیستم پایش وضعیت ارتعاشی توربوژنراتور واحد ۴ نیروگاه رامین اهواز

مهدی آقا امینی
پژوهشگاه نیرو
ایران، تهران

حمیدرضا خالصی
پژوهشگاه نیرو
ایران، تهران

علی بخشی
پژوهشگاه نیرو
ایران، تهران

ایوب جعفری
دانشگاه آزاد قزوین
ایران، قزوین

مسعود آسایش
پژوهشگاه نیرو
ایران، تهران

مسعود سلطانی حسینی
پژوهشگاه نیرو
ایران، تهران

ناصر محمدی
نیروگاه رامین اهواز
ایران، اهواز

مصطفی بارون
نیروگاه رامین اهواز
ایران، اهواز

غلامحسین خزاعی نیا
نیروگاه رامین اهواز
ایران، اهواز

maghaamini@nri.ac.ir

چکیده

در راستای پایش وضعیت ماشینهای دوار نیروگاهی، از سال ۱۳۷۸ تا کنون پروژه¬های متعددی در گروه تجهیزات دوار مکانیکی پژوهشگاه نیرو انجام گردیده و ویرایشهای متعددی از سیستم VCM طراحی و تولید شده است. با توجه به اینکه بر روی توربوژنراتورهای ۳ واحد از ۶ واحد نیروگاه رامین اهواز سیستم پایش وضعیت VIDAS (محصول کشور روسیه) نصب شده بود، در این پروژه با درخواست کارفرما سعی شد که ویرایش جدید سیستم VCM به گونه ای طراحی و توسعه یابد که بیشترین شباهت را از نظر سخت افزاری و نرم افزاری با این سیستم داشته باشد تا برای بهره برداران که با سیستم VIDAS آشنایی دارند استفاده از VCM راحت تر بوده و نیازی به آموزش بیشتر نباشد. البته در ویرایشهای قبلی VCM هیچگاه مانیتورینگ و حفاظت واحد بر عهده سخت افزار نبوده و تنها وظیفه سخت افزار ارسال سیگنال به کامپیوتر بود. اما در این پروژه توسعه بخش سخت افزاری بسیار چشمگیر بوده و طراحی و ساخت کارتهای مانیتورینگ و حفاظت برای سنسورهای مختلف ارتعاشی کار بسیار عظیمی بود که با موفقیت انجام گردید. همچنین در بخش نرم افزار نیز توسعه و اصلاحات زیادی انجام گرفت و ظاهر تمام فرمها شبیه سیستم VIDAS طراحی گردید.

بعلت گستردگی فعالیتهای انجام شده در این پروژه نمی توان جزئیات طراحی و ساخت تمام بخشهای سخت افزاری و نرم افزاری را در یک مقاله گنجاند و لذا در اینجا بصورت خلاصه مراحل طراحی و پیاده سازی ویرایش جدید سیستم VCM را مرور خواهیم نمود.

واژه¬های کلیدی – پایش وضعیت، آنالیز ارتعاشات، عیب یابی، ماشینهای دوار

مقدمه

بطور کلی سیگنالهای خروجی سنسورها وارد جانکشن باکس (محل نصب درایور و تغذیه سنسورها) و سپس به اتاق فرمان و تابلوی مانیتورینگ وارد می شود. سیگنالهای ورودی به تابلو همزمان با نمایش و کنترل آنالوگ مقادیر نسبت به محدوده¬های مجاز در داخل کارتهای مانیتورینگ، توسط کارت A/D از حالت آنالوگ به

قدردانی از حامیان پروژه: بدینوسیله از آقای مهندس محمدی (معاون فنی مهندسی نیروگاه رامین) و آقای مهندس سلطانی (رئیس پژوهشکده تولید پژوهشگاه نیرو) بخاطر زحمات و پیگیریهای فراوان در امور مالی و اجرایی پروژه در نیروگاه رامین و پژوهشگاه نیرو قدردانی می گردد.

حالت دیجیتال تبدیل و در کامپیوتر سرور ذخیره و توسط نرم افـزار VCM مانیتور و آنالیز می¬شوند.

مراحل انجام این پروژه را می توان بصورت زیر خلاصه نمود:

- نصب سنسورها و جانکشن باکسها
- کابل کشی از سنسورها به جانکشن باکسـها و سـپس بـه اتـاق فرمان
- طراحی، ساخت و تست کارتهای مانیتورینگ و حفاظت
- طراحی و ساخت و نصب تابلو در اتاق فرمان
- طراحی و تهیه ویرایش جدید نرم افزار مانیتورینگ و عیب یابی VCM
- راه انـدازی کـل سیسـتم و انجـام تنظیمـات و کالیبراسـیون سنسورها

الف) بخش سخت افزار

بخش سخت افزار شامل اجزای اصلی به شرح زیر می باشد:

الف-۱) سنسورها

سنسورهایی که در این پروژه بر روی واحد نصب گردیـد بـه شـرح زیر می باشند:

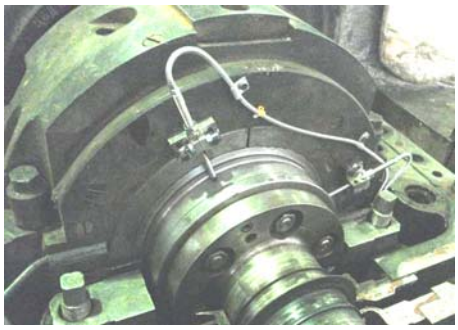
۱- تعداد ۱۴ عدد سنسور ارتعاشات نسبی (۲ سنسـور عمـود بر هم بر روی ۷ یاتاقان) (شکل ۱)
۲- تعداد ۲۱ عدد سنسور ارتعاشات مطلق (۳ سنسور بر روی ۷ یاتاقان) (شکل ۲)
۳- تعداد ۳ عدد سنسور جابجایی محوری شفت
۴- تعداد ۲ عدد سنسور دورسنج
۵- تعداد ۱ عدد سنسور زاویه فاز

همچنین سیگنال سنسورهای انبساط نسبی و مطلق و انحناء شـفت و سیگنالهای ترمودینامیکی که قبلا بر روی واحد نصب و در حال بهره برداری بود نیز به سیستم VCM متصل گردید.

در شکل (۳) نمای کلی واحد و محل نصب سنسورها قابل مشـاهده می باشد.

الف-۲) جانکشن باکسها

خروجی سنسورها وارد جانکشن باکسها می شـود. ایـن جعبـه¬هـا محل نصـب درایـور و تغذیـه سنسـورها مـی باشـند. در شـکل (۴) جانکشن باکسهای نصب شده روی پوسته توربین LP برای خروجی سنسورهای یاتاقانهای ۵ و ۶ مشاهده می شود.



شکل ۱: نصب ۲ عدد سنسور ارتعاشات نسبی متعامد بر روی هر یاتاقان

شکل ۲: سنسورهای ارتعاشات مطلق در دوجهت افقی و محوری

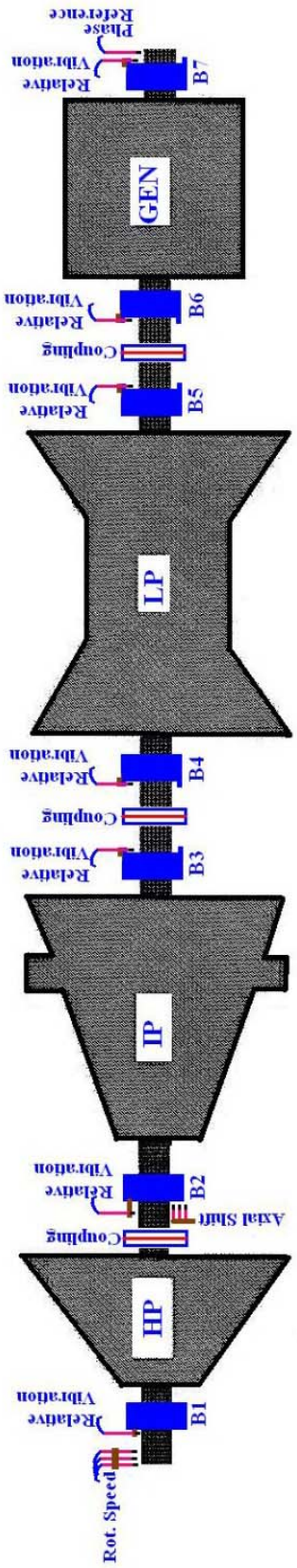
الف-۳) سابرکها (کارتهای حفاظت و مانیتورینگ)

سابرک‌های حفاظت و مانیتورینگ عملیـات انـدازه‌گیـری و نمـایش سیگنال‌ها و همچنین ارسال فرامین حفاظتی را انجام می‌دهند (شـکل ۵). خروجی حفاظتی سابرک‌ها (فرمان‌های آلارم و تریپ) به رلـه‌هـا و خروجی دیتا به کامپیوتر سرور ارسال می شود.

الف-۴) تابلو و کامپیوتر سرور و یو پی اس

کلیـه سـیگنالهای مانیتورینـگ و حفاظـت وارد تـابلوی کاندیشـن مانیتورینگ ارتعاشات می شود. این تابلو (شکل ۶) شـامل بخشـهای اصلی زیر می باشد:

- منبع تغذیه کلیه اجزاء سیستم مانیتورینـگ(از قبیـل: سنسـورها، سابرکها، کامپیوترها)
- اجزای الکترونیکی مختلف (از قبیل ایزولاتورهـا، مبـدل¬هـای جریان و ولتاژ، تقویت کننده¬ها، حذف dc) برای آماده سـازی سیگنالها جهت ورود به سابرکها و کامپیوتر
- کامپیوتر سرور (کـه تمـام اطلاعـات سـیگنالها در آن ذخیـره و آنالیز می شود)



شکل (۳): نمای کلی واحد و محل نصب سنسورها

شکل ۴: نصب جانکشن باکسها با عایق حرارتی مناسب روی پوسته توربین

شکل ۵: سابرک‌های حفاظت و مانیتورینگ

شکل ۶: تابلو مانیتورینگ در اتاق فرمان در حال بهره برداری

ب) بخش نرم افزار

نرم افزار VCM داده¬های سنسورها را از کارت A/D خوانده و بعد از انجام عملیات مانیتورینگ در صورت وجود تغییرات محسوس در پارامترهای ارتعاشی، داده¬های مربوطه را باتوجه به تاریخ و مکان و جهت سنسور در بانک داده¬ها ذخیره می‌کند. داده¬های ذخیره شده در بانک توسط بخشهای پردازش سیگنال و عیب یابی مورد استفاده قرار می¬گیرند. در این نرم افزار امکان استفاده همزمان کاربران از طریق شبکه داخلی و اتصال به سرور اصلی وجود داشته و همچنین در بخش مانیتورینگ و پردازش داده‌ها نمودارهای ترند، شکل موج زمانی، طیف فرکانسی، مدار حرکت شفت و ... قابل نمایش می‌باشد. بخش اصلی این نرم افزار ماژول تشخیص عیب با روش آنالیز ارتعاشات می‌باشد که در آن با بکارگیری یک شبکه عصبی آموزش یافته، عیوب احتمالی ماشینها تشخیص داده می‌شود.

با پیاده‌سازی این سیستم دسترسی به اطلاعات واحدهای نیروگاهی بصورت on-line میسر بوده و کارشناسان خبره با تفسیر این اطلاعات، می‌توانند مشاوره لازم در زمینه عیب‌یابی و تحلیل وضعیت ماشینهای دوار اصلی نیروگاه را ارائه نمایند.

بطور کلی این ویرایش نرم افزار VCM دارای ۳ بخش اصلی به شرح زیر می¬باشد:

۱- بخش مانیتورینگ
۲- بخش عیب یابی
۳- بخش آرشیو

ب-۱) بخش مانیتورینگ

وظیفه این بخش اخذ داده¬های خام ارتعاشی از کارت A/D (نمونه برداری از سیگنالها در زمانهای مشخص و با سرعتهای تعریف شده) و نمایش آنها بصورتهای مختلف بعنوان نمودارهای ارتعاشی می¬باشد. در این بخش داده¬های خام نمونه برداری شده درون فایلهای متنی با فرمت مشخصی ذخیره می¬شوند.

کنترل برنامه¬های نمونه برداری و تغییر تنظیمات آنها (سرعت نمونه برداری، تعداد نمونه¬ها و ...) در برنامه VCM قابل انجام می¬باشد.

برنامه VCM دارای ۲ نسخه سرور (بر روی کامپیوتر داخل تابلو نصب می شود) و کاربر (بر روی کامپیوترهای داخل اتاق فرمان و یا بخش¬های دیگر جهت آنالیز داده¬ها و نمایش نتایج نصب می شود) می¬باشد.

در این ویرایش مشخصات ماشینهای مورد نظر (نام ماشین، مقادیر اخطار و توقف، سرعت نامی محور، مقادیر سرعتهای بحرانی) و تعداد و موقعیت نقاط اندازه گیری توسط سوپروایزر در نرم افزار وارد شده و ثابت می باشند. سه سنسور ارتعاشی (عمودی، افقی و محوری) برای هر نقطه اندازه‌گیری تعریف و مشخصات سنسورها (نوع سنسور، حساسیت، مشخصات طیف فرکانسی مطلوب، شماره کانال ورودی به کارت A/D و ...) وارد شده است.

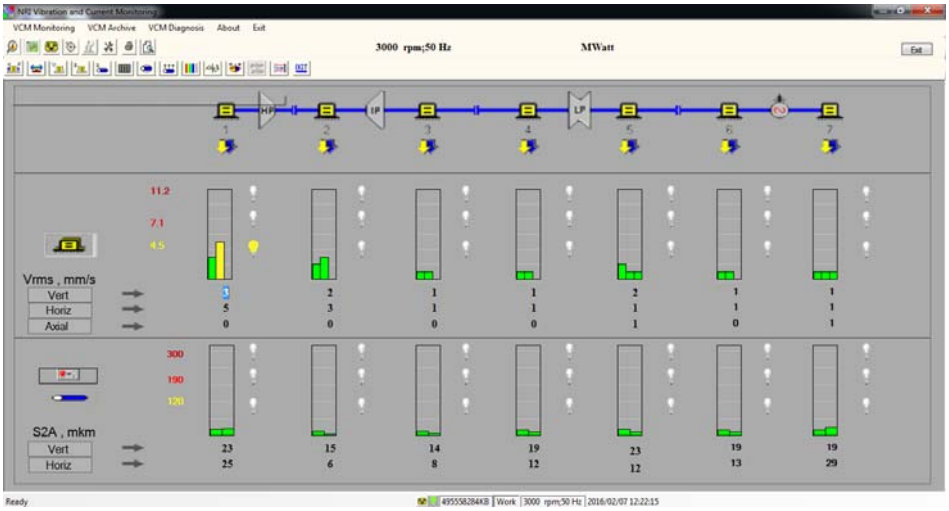
در نرم افزار VCM از یک ساختار ترکیبی مبتنی بر ذخیره سازی فایل و دیتابیس استفاده شده است. در این ساختار دیتای سنسورها خوانده شده و پردازش¬های اولیه بر روی آن انجام می¬شود. دیتای تولید شده از نتایج پردازش¬ها در دیتابیس ذخیره می¬شود، ولی دیتای خام سنسورها در دیتابیس ذخیره نشده و بصورت فایل با فرمت مشخص بر روی هارد ذخیره می¬شود. اسامی فایلها و پوشه¬ها به گونه ای تعیین می¬شود که دسترسی به داده¬های خام سنسورها به آسانی میسر باشد.

اطلاعات بدست آمده از آنالیز اولیه سنسورها در دیتابیس ذخیره شده و در نمودارها و آنالیزهای مربوطه مورد استفاده قرار می¬گیرد.

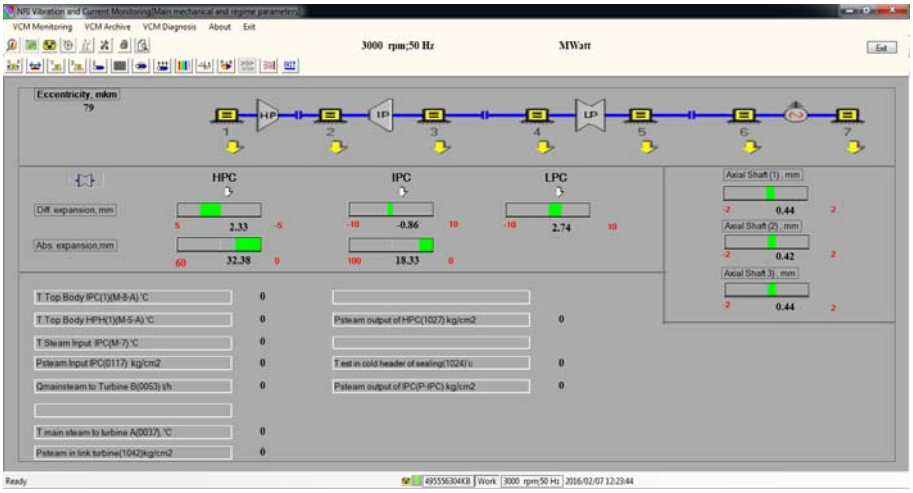
در بخش مونیتورینگ VCM نمودارها و آنالیزهای زیر نمایش داده می شود:

- نمایش مقدار RMS سیگنالها در چند نوع مختلف (نمودار ترند، میله ای یا بارگراف، جدولی) (شکلهای ۷ و ۸)
- نمودار شکل موج زمانی (Time wave form): نمایش مقادیر سیگنال خام دریافتی از سنسور بر حسب زمان (شکل ۹)
- نمودار فوریه یا طیف فرکانسی (FFT): انتقال شکل موج زمانی به حوزه فرکانس بصورت ستونی در باندهای فرکانسی مختلف
- نمودار مدار شفت (Shaft orbit): ترسیم سیگنالهای دو سنسور ارتعاشات نسبی (XY) و همچنین سنسورهای ارتعاشات مطلق (xy, yz, xz) نصب شده بر روی یک یاتاقان
- نمایش مقدار جابجایی استاتیکی و دینامیکی شفت در راستای افقی و عمودی بصورت نمودار میله ای
- نمودار موقعیت افقی و عمودی شفت (موقعیت استاتیک شفت در حال دوران) (شکل ۱۰)

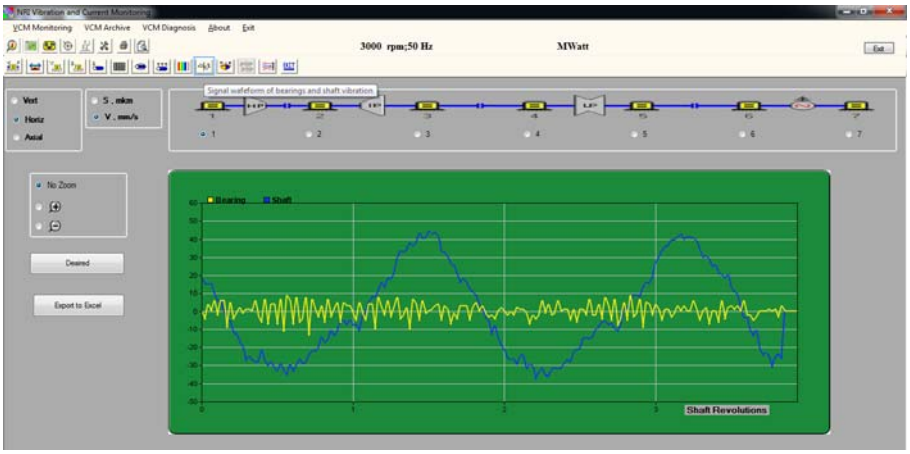
جهت آشنایی بیشتر با موارد فوق می¬توان به مراجع [۳-۷] مراجعه نمود.



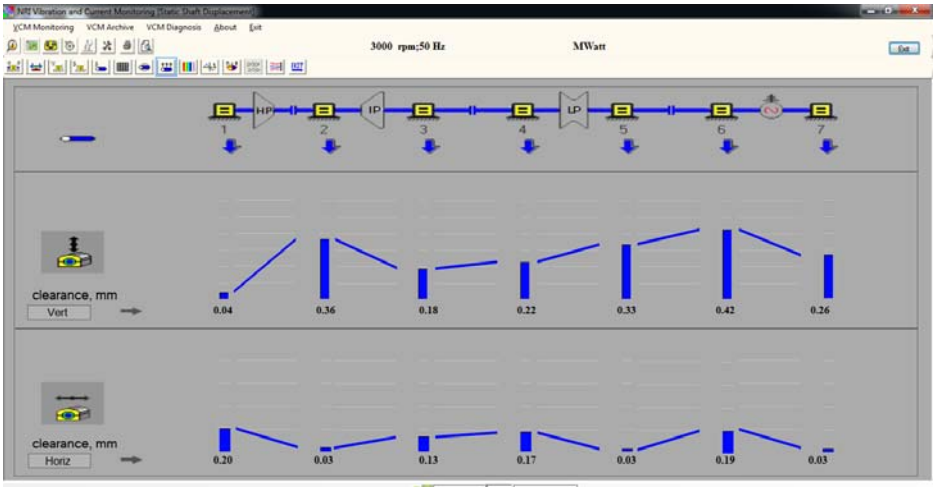
شکل ۷: نمودار میله ای نمایش مقادیر ارتعاشات مطلق و نسبی (برای ۳۵ سنسور)



شکل ۸: نمایش مقادیر جابجایی محوری، انبساط¬های مطلق و نسبی، انحنائ شفت،
دور واحد، توان خروجی و پارامترهای ترمودینامیکی دیگر



شکل ۹: نمودار شکل موج زمانی سنسورهای ارتعاشی



شکل ۱۰: نمودار موقعیت شفت در راستای عمودی و افقی

ب-۲) بخش عیب‌یابی با آنالیز ارتعاشات

ماژول عیب یابی با آنالیز ارتعاشات در سیستم VCM از یک شبکه عصبی آموزش دیده تشکیل شده که با کمک یک سری شروط منطقی (قوانین If then) درصد احتمال عیوب را تخمین میزند.

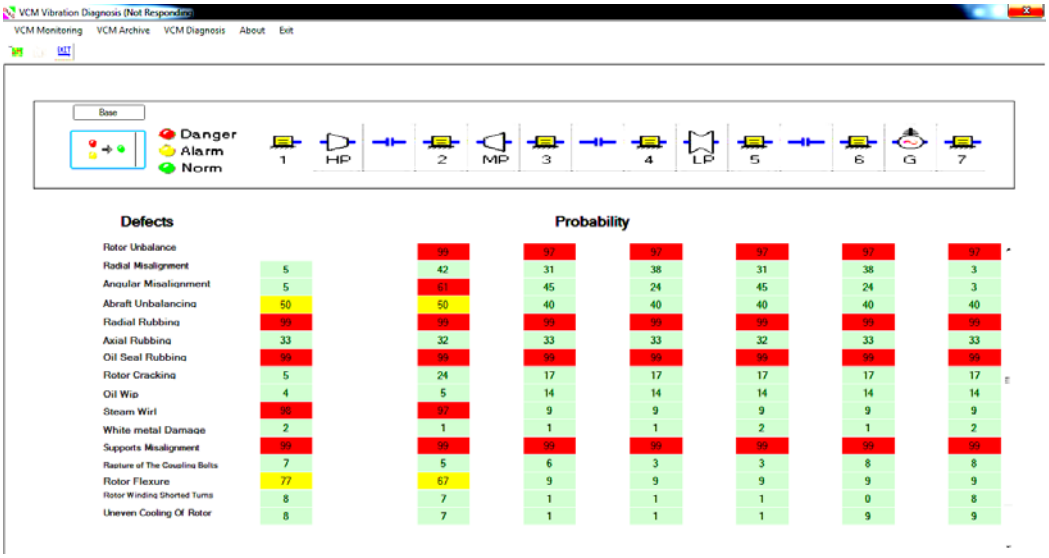
در طراحی و تهیه بخشهای مختلف سیستم از مراجع متعددی استفاده شده که از مهمترین آنها می‌توان به مراجع [۳-۸] اشاره کرد.

بدلیل عملکرد مناسب شبکه‌های عصبی در عیب‌یابی سیستمهای غیرخطی، در بخش عیب یابی با آنالیز ارتعاشات از یک شبکه عصبی سه لایه‌ای پیشرونده (feed forward) با روش یادگیری پس‌انتشار (back propagation) استفاده شده است.

خروجی بخش عیب یابی درصد احتمال وجود عیوب مختلفی از قبیل موارد زیر می‌باشد:

نامیزانی (مکانیکی یا الکترومغناطیسی)، عدم‌هم‌محوری زاویه ای یا شعاعی، خمیدگی شفت، سایش، لقی محور یا اجزاء روتور ، لقی اجزاء یاتاقان یا لقی اتصالات پایه و فونداسیون، چرخش روغن، چرخش بخار، خوردگی بابیت، ترک روتور، سرعت بحرانی، خنک کاری غیریکنواخت روتور

بردارهای الگوی آموزشی ورودی شبکه عصبی برای هر عیب از جداول عیب یابی موجود در مرجع [۱] اخذ شده‌اند. همچنین جزئیات کامل شبکهٔ عصبی در مرجع [۲] موجود می باشد.



شکل (۱۱): فرم نتایج عیب یابی (درصد عیوب احتمالی) با آنالیز ارتعاشات (با اطلاعات آزمایشی)

برای عیب یابی ابتدا داده‌های ارتعاشی مربوط به محل‌های اندازه‌گیری به برنامه وارد می‌شود. سپس با استفاده از نمودار FFT ، مقادیر دامنه‌های غالب ارتعاشات در باندهای فرکانسی مختلف بدست می‌آید. با مقایسه این مقادیر نسبت به مقادیر مشابه مربوط به داده‌های مبنا (داده¬هایی که در حالت سلامت ماشین اخذ شده باشند. این داده¬ها مبنای مقایسه داده¬های معیوب می‌باشند. قابل ذکر است که داده¬های معیوب و مبنا هر دو باید در شرایط کارکرد یکسان و از یک نقطه مشخص روی ماشین اخذ شده باشند در غیر اینصورت میزان خطای تشخیص عیب برنامه بیشتر می‌شود.)، مقدار نسبی رشد دامنه ارتعاشات بصورت درصد بدست می‌آید. مقادیر درصد حاصله بعنوان ورودیهای شبکه عصبی بکار برده شده و پس از انجام محاسبات در شبکه عصبی درصد احتمال وقوع عیوب مختلف بعنوان خروجی شبکه عصبی بدست می‌آیند. نکته‌ای که در اینجا باید خاطر نشان ساخت این است که مجموع درصد احتمال عیوب لازم نیست که برابر ۱۰۰ بشود، مثلاً ممکن است احتمال وجود دو یا چند عیب بطور همزمان بیش از ۶۰ درصد باشد و معنای آن این است که چند عیب بطور همزمان در ماشین وجود دارند. بعلت تشابه و تداخل زیادی که الگوهای عیوب نسبت به یکدیگر دارند، در برخی موارد پاسخ برنامه برای عیوب دوم و سوم نیز نزدیک به عیب اول می‌باشد. همچنین برای شناسایی برخی از عیوب، در کنار الگوریتم شبکه عصبی، از یک سری شروط منطقی (قوانین If then) نیز استفاده شده است. شکل (۱۱) فرم نتایج عیب یابی با داده¬های آزمایشی را نشان می¬دهد.

ب-۳) آرشیو

در بخش آرشیو اطلاعات کلیه سیگنالهای ورودی به تابلو برای فواصل زمانی مختلف در گذشته قابل نمایش می باشد. تمامی نمودارهای بخش مانیتورینگ به صورت آفلاین در این بخش قابل دسترس می باشد.

ج) نتیجه گیری

در این مقاله بطور خلاصه مراحل طراحی و پیاده سازی سیستم کاندیشن مانیتورینگ با آنالیز ارتعاشات بر روی توربوژنراتور واحد ۴ نیروگاه رامین مرور گردید.

با نصب سیستم مانیتورینگ ارتعاشات در نیروگاههای مختلف کشور مشکلات و هزینه¬های تعمیرات و نگهداری واحدها کاهش یافته و آنها می‌توانند رفتار ارتعاشی چندین واحد نیروگاهی را از یک کامپیوتر بطور همزمان بررسی و یا حتی در صورت نیاز می‌توانند اطلاعات ارتعاشی ثبت شده در سیستم را از طریق اینترنت برای مشاوران و کارشناسان خارجی ارسال و از نظراتشان استفاده نمایند. همچنین با توجه به اینکه سیستم مذکور در نیروگاه رامین اهواز در حال کار می‌باشد تصاویری از سیستم در شرایط کاری نیروگاه ارائه شده است.

قدردانی

نویسندگان مقاله بدینوسیله از مسئولان و پرسنل محترم نیروگاه رامین اهواز بویژه آقایان مهندس محمدی (معاون محترم فنی و مهندسی)، مهندس بارون و مهندس خزاعی نیا به خاطر همکاری صمیمانه و راهنمائیهای مؤثر در طول انجام پروژه مراتب قدردانی خود را ابراز می‌دارند.

منابع

1. Standard : IRD 2000
۲. «فلوچارت کلی برنامهٔ خبره عیب‌یابی با آنالیز ارتعاشات»، گزارش PMEPN03/T5، پژوهشگاه نیرو، گروه تجهیزات دوار مکانیکی، مهرماه ۱۳۷۹
3. Randall R.B., State Of The Art In Monitoring Rotating Machinery –Part1, Sound and Vibration, , Vol. 38, No. 3, march 2004, pp. 14-21
4. Randall R.B., State Of The Art In Monitoring Rotating Machinery –Part2, Sound and Vibration, Vol. 38, No. 5, may 2004, pp. 10-17
5. Adams M.L., Rotating Machinery Vibration From Analysis To Troubleshooting, Marcel Dekker Inc, New York, 2001
6. Braun S., Encyclopedia Of Vibration, Academic Press, 2002
7. Randall R.B, Vibration-Based Condition Monitoring: Industrial, Aerospace And Automotive Applications, John Wiley & Sons , 2011
8. Zhao Gang, Data Mining for Fault Diagnosis and Machine Learning for Rotating Machinery, Engineering Materials Vols. 293-294 (2005) pp 175-182